Journal of Agricultural Machinery
Vol. 9, No. 2, Fall - Winter 2019, p. 347-364
نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۹، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۸، ص ۳۶۴-۳۴۷

تأثیر پوشش چیتوزان بر خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی انگور رقم فخری در طول دوره انبارداری

سعید خدامرادی[1]- ابراهیم احمدی[2*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۲۷

چکیده

در این تحقیق خواص فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و رئولوژیکی انگور فخری در طول دوره نگهداری مورد بررسی قرار گرفته است. انگور فخری پس از برداشت از باغات استان همدان با استفاده از پوشش چیتوزان در سه غلظت (۰/۵، ۱ و ۲ درصد) پوشش‌دهی شده و در دو دمای محیط و یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شده است. در طول دوره نگهداری هر ۵ روز یک‌بار خواص فیزیکی (افت وزن، درصد رطوبت و تغییرات شاخص رنگ)، خواص شیمیایی (pH و TSS)، خواص مکانیکی (نیروی بیشینه، نیروی شکست و مدول الاستیسیته) و خواص رئولوژیکی (زمان تنش‌آسایی و مقدار تنش‌آسایی) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده آن بود که اثرات اصلی دما، دوره نگهداری و پوشش چیتوزان و برخی از اثرات متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر خواص فیزیکی و شیمیایی انگور فخری داشته‌اند. بیشترین افت وزن ۱۰/۶۶ درصد در نمونه پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۰/۵ درصد نگهداری شده در دمای محیط اتفاق افتاد. کمترین میزان اختلاف رنگ برای نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۲ درصد نگهداری شده در دمای یخچال مشاهده شد. کمترین نیروی بیشینه در آخرین روز دوره برای نمونه‌های شاهد نگهداری شده در دمای محیط بوده است. دوره نگهداری تأثیر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر مدول الاستیسیته دارد درحالی‌که تأثیر پوشش بر این پارامتر معنی‌دار نبوده است. نتایج نشان‌دهنده آن بود که استفاده از پوشش چیتوزان تأثیر مستقیمی در افزایش زمان و مقدار تنش‌آسایی انگور فخری داشته است به‌نحوی‌که در طول دوره نگهداری کاهش هر دو پارامتر در نمونه‌های پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه‌های شاهد کمتر بوده است.

واژه‌های کلیدی: انبارداری، انگور فخری، پوشش چیتوزان، خواص کیفی، رئولوژی

مقدمه

انگور یک میوه بسیار مهم در ایران به‌شمار می‌رود و نگه‌داری آن به دلیل داشتن طبیعت بسیار فسادپذیر، مشکل می‌باشد. کشور ایران دهمین تولیدکننده انگور دنیا می‌باشد که حدود ۳/۳ درصد از کل تولید انگور دنیا را به خود اختصاص داده است. عمر کوتاه و افت کیفیت از مشکلات مهم در فرآیند نگهداری و انبارمانی محصولات کشاورزی می‌باشند، که ضمن نابودی بخش زیادی از محصول، ارزش اقتصادی محصولات را نیز به‌طرز چشمگیری کاهش می‌دهند. مقدار قابل توجهی از محصول در اثر فسادهای پس از برداشت آسیب می‌بینند. از این رو بررسی عمر انبارمانی، یک مرحله‌ی حساس به‌شمار می‌رود. به همین دلیل استفاده از روش‌های مناسب از جمله پوشش‌های خوراکی برای افزایش عمر ماندگاری محصولات کشاورزی و حفظ کیفیت آن‌ها بسیار مهم و ضروری می‌باشد (Heidari *et al.*, 2004; Lee and Bourne, 1980).

چیتوزان یک پوشش خوراکی است که نام آن از کیتین داستیل شده گرفته شده است که از پوسته سخت‌پوستانی مانند خرچنگ و میگو مشتق شده است (Bautista-Banos *et al.*, 2006). چیتوزان به‌عنوان یک فیلم نیمه نفوذپذیر می‌تواند اتمسفر درونی را تغییر دهد (تغییر در نفوذپذیری آب، اکسیژن و دی‌اکسید کربن) بنابراین، ضایعات حاصل از تبخیر کم شده، کیفیت میوه‌های برداشت شده حفظ گردیده و رشد کپک نیز کاهش می‌یابد (Chi *et al.*, 2003). یکی از روش‌های مناسب و عملیاتی برای افزایش ماندگاری میوه‌ها و جلوگیری از گسترش آسیب بافت آن‌ها، کاربرد پوشش‌های تهیه شده بر پایه‌ی پلیمرهای طبیعی است. امروزه، در بسته‌بندی برخی موادغذایی، پوشش‌های خوراکی جایگزین سایر پوشش‌های شده‌اند. انواع مختلفی از پلی ساکاریدها در ساخت پوشش‌های خوراکی به‌کار رفته‌اند، مانند سلولز و مشتقات آن، نشاسته و چیتوزان (Ribeiro *et al.*, 2007)، که خواص ضدمیکروبی و درمانی دارند، مانند: کاهش کلسترول، چربی و خاصیت ضد سرطانی (Kofuji *et al.*, 2005).

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
(*- نویسنده مسئول: Email: eahmadi@basu.ac.ir)
DOI: 10.22067/jam.v9i2.69423

چیتوزان برای میوه‌های برداشت شده تازه و سبزی‌ها زمانی که در ارتباط مستقیم با بافت قرار دارد، مناسب است. چیتوزان می‌تواند به خاطر خواص تشکیل فیلم، ویژگی‌های بیوشیمیایی، بازدارندگی رشد قارچ‌ها و تحریک فیتوالکسین‌ها، یک پوشش محافظ ایده‌آل باشد (Kofuji *et al.*, 2005). چیتوزان قادر به تشکیل فیلم نیمه نفوذپذیر روی پوست میوه است (Del-Valle *et al.*, 2005). درنتیجه مقدار تنفس میوه را کاهش می‌دهد بنابراین کیفیت میوه را کنترل کرده و در افزایش دوره انبارمانی میوه موثر است (Du *et al.*, 1997). چیتوزان فعالیت ضد میکروبی دارد (Plascencia-Jatomea *et al.*, 2003) و پوشش میوه توسط چیتوزان رشد قارچی را محدود کرده و باعث بهبود کیفیت میوه می‌گردد.

در تحقیقی تأثیر پوشش چیتوزان و اورتوفنیل فنول بر عمر ماندگاری پرتقال تامسون طی ۳ ماه انبارداری بررسی گردید. در این تحقیق میوه‌ها به ۵ دسته تقسیم شده که دسته اول تا چهارم با چیتوزان ۰/۵، ۱، ۲ درصد و قارچ‌کش (اورتوفنیل فنول) پوشش‌دهی شده و دسته پنجم به‌عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته‌شد. نتایج نشان‌دهنده آن بود که استفاده از پوشش چیتوزان ۲ درصد، تلفات از دست دادن آب میوه را نسبت به بقیه پوشش‌ها کمتر کرده، همچنین با داشتن pH بالاتر از آلودگی قارچی نیز پیشگیری نموده است (Taghinezhad Kafshgari *et al.*, 2013). نتایج مشخص کرد که تغییرات میزان مواد جامد محلول در مدت ۶۰ و ۹۰ روز برای تمامی نمونه‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار، اما نمونه‌های پوشش‌دهی شده با غلظت چیتوزان ۱ و ۲ درصد در دوره ۹۰ روزه تغییر معنی‌داری را نشان نداد. مستوفی و همکاران در بررسی اثر چیتوزان بر انگور رقم شاهرودی اظهار داشتند که چیتوزان میزان کاهش وزن، فساد قهوه‌ای شدن، ترک‌خوردگی و ریزش حبه‌ها را کاهش و کیفیت آنها را افزایش می‌دهند (Mostofi *et al.*, 2011).

با توجه به مطالعات صورت گرفته مشخص گردید که افزایش عمرماندگاری و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی در راستای کاهش ضایعات و افزایش ارزش اقتصادی آن حائز اهمیت فراوان می‌باشد. لذا در این پژوهش خواص فیزیکی، مکانیکی، شیمیایی و رئولوژی انگور فخری تحت پوشش‌دهی با چیتوزان در طول دوره انبارداری بررسی شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از انگور رقم فخری استفاده گردید. این محصول به صورت تازه‌خوری مورد استفاده قرار می‌گیرد و عمر کوتاهی در طول دوره نگهداری دارد. محصول به صورت مستقیم از باغات استان همدان تهیه شد. نمونه‌ها از لحاظ اندازه، شکل و یکنواختی رنگ و بدون نشان‌هایی از آسیب مکانیکی و یا پوسیدگی قارچی انتخاب شدند و پس از آن تمام مواد خارجی و میوه‌های آسیب‌دیده به‌صورت دستی جدا شدند. پس از پوشش‌دهی در ظروف پلاستیکی درب‌دار چیده شدند و درون یخچال و محیط آزاد آزمایشگاه قرار داده شدند.

روش تهیه پوشش چیتوزان

ابتدا چیتوزان مورد نظر با درجه استیل‌زدایی ۸۰ از شرکت سیگما آلمان خریداری گردید. محلول حاوی چیتوزان با درصد ۰/۵، ۱ و ۲ درصد جهت پوشش‌دهی به نمونه‌ها تهیه گردید. برای تهیه محلول ۰/۵، ۱ و ۲ درصد به‌ترتیب ۲/۵، ۵ و ۱۰ گرم از پودر چیتوزان درون ۱۰۰ میلی‌لیتر استیک اسید کاملاً حل نموده و سپس ۴۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر دوبار تقطیر شده به آن اضافه گردید. جهت بهبود چسبندگی محلول، ۱ میلی‌لیتر توئین ۸۰ نیز به محلول اضافه شد (Hong *et al.*, 2012; Shiri *et al.*, 2013).

پوشش‌دهی میوه‌ها به روش غوطه‌وری و خشک شدن پوشش سطحی آن‌ها در دمای محیط انجام گرفت. به این روش که خوشه‌های انگور حاوی ۱۲ تا ۱۵ حبه انتخاب و درون محلول چیتوزان با درصد مشخص به مدت ۱ دقیقه غوطه‌ور شده، سپس از درون محلول خارج گردید و به مدت ۲ ساعت در محیط آزاد با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد جهت خشک شدن رطوبت اضافی قرار داده شدند. در نهایت نمونه‌های پوشش‌دهی شده و بدون پوشش به‌ترتیب درون بسته‌های شفاف معمولی قرار داده شده و جهت نگهداری درون یخچالی با دمای ۱±۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۵ تا ۸۰ درصد و محیط آزمایشگاه به‌عنوان سطح دوم دما، با دمای ۲۵ درجه و مقدار رطوبت نسبی ۵۰ تا ۶۰ درصد قرار داده شدند. در دوره‌های ۵ روزه خواص فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و رئولوژیکی نمونه‌ها مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت.

میوه‌های هر تیمار با ترازوی دیجیتالی در ابتدای آزمایش و به فواصل معین در طول دوره نگهداری، همان میوه‌ها وزن شدند و درصد افت وزن محاسبه گردید. برای تعیین درصد رطوبت، نمونه‌ها هر پنج روز یک بار درون آون قرار گرفت و درصد رطوبت با استفاده از رابطه (۱) تعیین گردید.

$$w.b\ (\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \qquad (۱)$$

در این رابطه w.b درصد رطوبت بر پایه تر و M_1 و M_2 به‌ترتیب وزن نمونه‌ها قبل و بعد از قرار گرفتن در آون (دمای۷۰ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۲۴ ساعت می‌باشد.

با استفاده از دستگاه pH متر مدل PHS3-W3B ساخت کشور ایتالیا با دقت ۰/۰۱، میزان pH آب نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. برای تعیین میزان مواد جامد محلول کل (TSS) در انگور در هر دوره تعداد ۳ عدد حبه انگور انتخاب شده و با استفاده از کاغذ صافی آب نمونه‌ها گرفته شد سپس از دستگاه رفراکتومتر آتاگو مدل PAL-2 ساخت کشور ژاپن استفاده گردید.

اندازه‌گیری رنگ ظاهری میوه‌ها در طول دوره نگهداری

برای اندازه‌گیری رنگ ظاهری نمونه‌ها از روش L.a.b و دستگاه رنگ‌سنج دیجیتالی مدل hp-200 ساخت کشور چین استفاده گردید. مقادیر L, a, b به‌دست آمده ثبت شد. مقدار ΔE که اختلاف رنگ را نشان می‌دهد با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \qquad (۲)$$

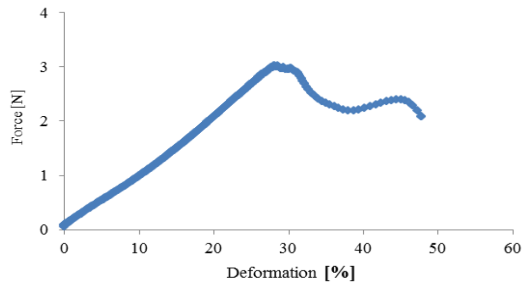
که در این رابطه ΔL تغییرات روشنایی، Δa تغییرات رنگ قرمز–سبز و Δb تغییرات رنگ زرد–آبی می‌باشد.

آزمون پنچری

آزمون پنچری با استفاده از دستگاه تست مواد غذایی (Zowick/roell) مدل Zwick/Roell ModelBT1_FR0.5TH.D14, using Xforce HP model of the load cell with a capacity of 500 N, by 2 mv/v (characteristic, Germany موجود در آزمایشگاه گروه بیوسیستم دانشگاه بوعلی صورت پذیرفت. بدین صورت که پروب مسطح به قطر ۵ میلی‌متر با سرعت ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه برای انجام این تست استفاده گردید. در این تست پروب تا عمق معین ۲ میلی‌متر به درون نمونه‌ها نفوذ کرده و نمودار نیرو–جابه‌جایی ثبت و برخی خواص مکانیکی (نیروی شکست و نیروی بیشینه) استخراج شد. در شکل ۱ منحنی رسم شده توسط نرم‌افزار برای یکی از نمونه‌ها نشان داده شده است. برای هر آزمایش، همزمان با نفوذ میله به درون هر نمونه، تغییرات نیروی نفوذ و مقدار نفوذ آن اندازه‌گیری می‌شد. مقدار مدول الاستیسیته با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (Mohsenin, 1986).

$$E = \frac{F}{D}\frac{\left(1-\mu^2\right)}{2a} \qquad (۳)$$

که در آن E مدول الاستیسیته (بر حسب مگاپاسکال)، D میزان نفوذ پروب در گوشت میوه، F نیروی وارد شده، 2a قطر پروب و μ نسبت پواسون است. در این تحقیق نسبت پواسون برای میوه زیتون برابر با ۰/۴۵ فرض شد (Hassanpour *et al.*, 2011).



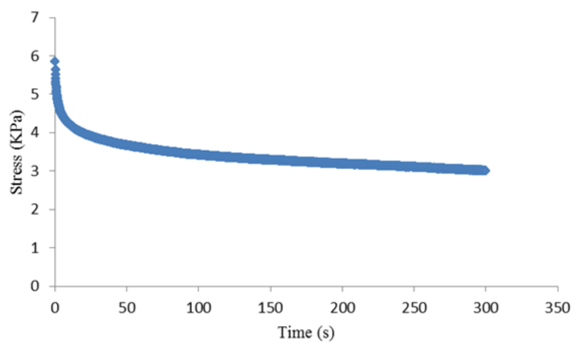
شکل ۱– منحنی نیرو– تغییر شکل آزمون پنچری برای یک نمونه انگور

Fig. 1. Force-deformation curve of the puncture test for a grape sample

آزمون تنش‌آسایی [۱]

برای انجام این آزمون نیز از دستگاه آزمون مواد غذایی (Zowick/roell) استفاده شد. نمونه‌ها روی فک ثابت قرار داده شده و بارگذاری توسط فک متحرک دستگاه به نمونه‌ها اعمال گردید. با توجه به بافت و نوع محصول سرعت بارگذاری نمونه‌ها برای حصول بیشترین داده در نیروی اعمال شده پایین با سعی و خطا ۳۰ میلی‌متر بر دقیقه تعیین گردید. از فک فشاری دستگاه (با شعاع ۵۰ میلی‌متر) برای انجام این آزمون استفاده شد. منحنی تنش–زمان در یک کرنش ثابت توسط نرم‌افزار دستگاه رسم گردید (شکل ۲). تمامی آزمایش‌ها در دمای اتاق انجام گرفت. شرایط انجام آزمون نیز به نحو زیر بود:

نیروی بارگذاری اولیه: ۰/۱ نیوتن، سرعت بارگذاری: ۳۰ میلی‌متر بر دقیقه، مدت زمان اندازه‌گیری جهت کاهش تنش: ۳۰۰ ثانیه، نیروی بارگذاری: ۲/۵ نیوتن (نیروی اعمال شده می‌بایست کمتر از نقطه تسلیم بیولوژیکی محصول باشد) و بعد از انجام آزمون برای هر نمونه، سطح مقطع قسمت کوفته شده به صورت یک بیضی در نظر گرفته و سطح مقطع نمونه برای تعیین تنش مشخص شد.



شکل ۲– منحنی تنش–زمان به‌دست آمده برای نمونه‌ها در یک کرنش ثابت

Fig. 2. The stress-time curve obtained for samples in a constant strain

مدل ماکسول عمومی [۲] یکی از مهمترین مدل‌های رئولوژیکی برای توصیف رفتار مواد بیولوژیک و محاسبه زمان تنش‌آسایی می‌باشد. این مدل خواص ویسکوالاستیک میوه‌ها را پیش‌بینی نموده و برازش خوبی با داده‌های آزمایشگاهی نشان داده است. در مدل ماکسول، تغییر شکل از دو قسمت تشکیل شده است، یکی سیال نیوتنی و دیگری الاستیک ایده‌آل. این مدل از ترکیب فنر و ضربه‌گیر به‌صورت سری تشکیل شده است که فنر نشانگر قانون هوک

1-Ralaxation test
2- Generalizied Maxwell model

(رفتارالاستیک ایده‌آل) و ضربه‌گیر نشانگر قانون سیال نیوتنی (رفتار ویسکوز ایده‌آل) می‌باشد (Mohsenin, 1986) (شکل ۳).

با استفاده از این روش ثابت زمانی T_{rel} یا به‌عبارتی زمان تنش‌آسایی نمونه‌های مورد آزمایش با استفاده از معادله (۴) محاسبه و مدل تنش‌آسایی از معادله (۴) محاسبه گردید (Mohsenin, 1986). آزمون‌ها در سه تکرار برای هر تیمار انجام پذیرفت.

$$T_{rel} = \frac{t_2 - t_1}{ln\sigma_1 - ln\sigma_2} \quad (۴)$$

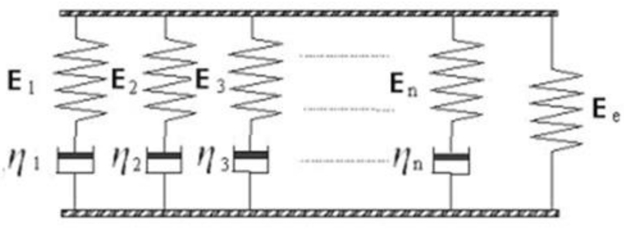
در این رابطه T_{rel} زمان تنش‌آسایی، t زمان بـر حسـب ثانیـه و σ تنش در دو نقطه مورد نظر از قسمت خطی شده منحنی می‌باشـد. بـا رسم منحنی حاصل از تفاضل منحنی اولیـه و خـط مجانـب اول و بـا رسم مجانب دوم، زمان تنش‌آسایی دوم به‌دست می‌آید. به این ترتیب پـس از چنـد تکـرار، منحنـی تفاضـلی خطـی شـده و آخـرین زمـان تنش‌آسایی به‌دست می‌آید. در این لحظه ترسیم خاتمه یافته و توسـط رابطه (۵) تابع تنش محاسبه می‌شود.

$$\sigma(t) = \sigma_1 e^{\frac{-t}{T_{rel1}}} + \sigma_2 e^{\frac{-t}{T_{rel2}}} + \cdots + \sigma_n e^{\frac{-t}{T_{reln}}} + \sigma_e \quad (۵)$$

در این رابطه σ(t) تنش در زمان t بر حسب (MPa)، σ_i نقطه برخورد خطوط مجانب با محور تنش بر حسب (MPa)، T_{reli} زمان‌های تنش‌آسایی بر حسب (s) و σ_e تنش تعادلی بر حسب (MPa) می‌باشند.

نوع طرح آزمایشی و تجزیه و تحلیل داده‌ها

این پژوهش به‌صـورت آزمـون فاکتوریـل در قالـب طـرح کـاملاً تصادفی در سه تکـرار انجـام شـد. فاکتورهـای فیزیکـی، شـیمیایی، مکانیکی و رئولوژی هر ۵ روز یک‌بـار مـورد بررسـی قـرار گرفتنـد و فاکتور پوشش‌دهی در ۴ سطح پوشش‌های ۰/۵، ۱، ۲ درصد و شـاهد، همچنین دمای نگهداری ۴ درجـه و محـیط (۲۵ درجـه سـانتی‌گـراد) بررسی شدند. داده‌های به‌دست آمـده بـا اسـتفاده از نـرم‌افـزار IBM SPSS Statistics 19 مورد تجزیـه و تحلیـل قـرار گرفـت. مقایسـه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت پـذیرفت و در نهایت نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2013 رسم گردیدند.



شکل ۳– مدل ماکسول عمومی شامل n المان

Fig. 3. The Maxwell general model includes n elements

نتایج و بحث

آزمون‌های کیفیت‌سنجی بر روی انگور فخری در دو دمای محیط و یخچال صورت پذیرفت. از آنجایی که نمونه‌های قرار داده شده در دمای محیط قبل از رسیدن به روز دوازدهم کاملاً فاسد شدند و از بین رفتند، تحلیل و گزارش داده‌های به‌دست آمده تا روز دهم مورد تحلیل در این مقاله قرار گرفته است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس تاثیر چیتوزان، دما و طول دوره نگهداری بر خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی انگور فخری در جدول ۱ نشان داده شده است.

بررسی درصد افت وزن و درصد رطوبت

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در طول دوره نگهداری بین روزهای اول، پنجم و دهم اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد هم در مقادیر افت وزن و هم در مقادیر درصد رطوبت نمونه‌ها وجود داشته است. مستوفی و همکاران نیز تأثیر معنی‌دار استفاده از پوشش چیتوزان را بر افت وزن و درصد رطوبت انگور رقم شاهرودی در طول دوره انبارداری گزارش کرده‌اند (Mostofi *et al.*, 2011).

همچنین مشخص شد که تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد بین مقادیر میانگین افت وزن بین نمونه‌های شاهد و پوشش‌دهی شده با چیتوزان وجود داشته است. مقادیر افت وزن نمونه‌های پوشش شده با چیتوزان ۱ و ۲ درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. همچنین بین درصد پوشش‌های ۰/۵ و ۲ درصد اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد بین مقادیر میانگین درصد رطوبت مشاهده گردید.

اثرات متقابل بدین صورت می‌باشد که سه حالت برای دوره نگهداری (روز صفرم، پنجم و دهم)، چهار حالت پوشش‌دهی (شاهد، ۰/۵، ۱ و ۲ درصد) و دو حالت دمایی (محیط و یخچال)، در مجموع ۲۴ حالت برای بررسی اثر متقابل سه‌گانه در نظر گرفته شد (جدول ۲). سه حالت دوره نگهداری با حروف (d_1، d_2 و d_3) به‌ترتیب برای روزهای اول پنجم و دهم، چهار حالت برای پوشش‌دهی با حروف (c_1، c_2، c_3 و c_4) به‌ترتیب برای حالت شاهد، ۰/۵ درصد، ۱ و ۲ درصد و دو حالت دما با حروف (t_1 و t_2) برای دمای محیط و یخچال نمایش داده شده است.

نتایج نشان داد که بیشترین درصد افت وزن ۱۰/۶۶ در نمونه پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۰/۵ درصد نگهداری شده در دمای محیط در روز دهم بوده است (شکل ۴). نتایج نشان داد که در روز آخر (روز دهم) کمترین مقدار افت وزن در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۱ و ۲ درصد به‌ترتیب ۲/۲۳ و ۲/۱۷ درصد در دمای یخچال بوده است. مشخص شد که پوشش چیتوزان به‌طور چشمگیری از افت وزن میوه‌ها جلوگیری می‌کند. چرا که پوشش‌های خوراکی از جمله چیتوزان با ایجاد یک سد بر سطح بیرونی محصول مانع از دست دادن آب در محصول می‌شوند (Mostofi *et al.*, 2011; Maciel *et al.*,

2005). نتایج مشابه مبنی بر تأثیر مثبت استفاده از پوشش‌های ۰/۵ و ۱ درصد چیتوزان بر جلوگیری از کاهش وزن انگور رقم شاهرودی در طول دوره نگهداری توسط مستوفی و همکاران گزارش گردیده است (Mostofi *et al.*, 2011). نتایج به‌دست آمده نشان داد که در آخرین روز دوره نگهداری (روز دهم) بیشترین مقدار درصد رطوبت در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۲ درصد که در دمای یخچال نگهداری شده بودند برابر با ۰/۵۳۳۳ و کمترین مقدار درصد رطوبت در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۰/۵ درصد برابر با ۰/۳۰۶۶ بوده است (شکل ۵). با بررسی مقادیر به‌دست آمده در ابتدا و انتهای دوره نگهداری مشخص شد که کمترین تغییر در مقدار درصد رطوبت نیز در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۲ درصد که در دمای یخچال نگهداری شده‌اند، رخ داده است. این نتایج نشان‌دهنده تأثیر مثبت استفاده از پوشش چیتوزان با غلظت ۲ درصد در حفظ و نگهداری رطوبت انگور فخری در طول دوره نگهداری می‌باشد.

بررسی شاخص‌های رنگ و تغییرات رنگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس شاخص‌های رنگی (L، a و b) انگور فخری نشان داد که پارامترهای دوره، دما، پوشش چیتوزان و اثرات متقابل آن‌ها در اکثر موارد تأثیر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر شاخص‌های رنگی و اختلاف رنگ (ΔE) داشته‌اند و فقط اثر پوشش چیتوزان بر اختلاف رنگ، اثر متقابل دوره × پوشش بر اختلاف رنگ و شاخص درخشندگی (L) و اثر متقابل دوره × دما × پوشش بر شاخص (a) معنی‌دار نبوده است.

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که روزهای اول، پنجم و دهم سبب ایجاد تفاوت معنی‌دار (در سطح آماری ۵ درصد) بر تمام مقادیر میانگین شاخص‌های رنگ و تغییرات رنگ در نمونه‌ها شده‌اند و تنها بین مقادیر شاخص (a) در روزهای اول و پنجم تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید.

تأثیر غلظت‌های مختلف چیتوزان استفاده شده و نمونه شاهد نیز بر شاخص‌های رنگی مورد بررسی قرار گرفت. تفاوت معنی‌داری در مقادیر شاخص درخشندگی میان نمونه‌های شاهد با نمونه‌های پوشش‌دهی شده و همچنین در بین غلظت‌های مختلف چیتوزان وجود نداشت. تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد برای مقادیر a بین پوشش ۱ و ۲ درصد وجود دارد. همچنین بین مقادیر میانگین b در نمونه‌های ۰/۵ و ۱ درصد نیز تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد مشاهده گردید.

جدول ۱ – تجزیه واریانس تاثیر پوشش چیتوزان، دما و زمان نگهداری بر خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی انگور فخری در ۱۰ روز

Table 1- Analysis of Variance (ANOVA) effect of chitosan coating, temperature and storage time on physical, chemical and mechanical properties of Fakhri grapes in 10 days

منابع تغییرات Source	درجه آزادی Df	میانگین مربعات MS										
		مدول الاستیسیته Elasticity modulus	نیروی شکست F_{break}	نیروی بیشینه F_{max}	pH	TSS	b	a	L	ΔE	درصد رطوبت Humidity	درصد افت وزن Weight loss
دوره نگهداری Storage	2	0.00**	0.878ns	0.578ns	0.43**	43.626**	4.387**	11.146**	85.775**	99.242**	0.035**	238.641**
دما Temperature	1	0.001**	18.046**	23.654**	0.002ns	10.035**	7.749**	18.86**	70.646**	8.487**	0.11**	241.633**
پوشش Coating	3	7.86×10^{-5}ns	5.03**	9.999**	0.065**	28.646**	1.315**	2.422**	3.069**	0.107ns	0.007**	0.752**
دوره×دما S×T	2	0.00**	1.088ns	1.163ns	0.002ns	20.241**	0.631**	0.769**	1.628**	2.698**	0.007**	83.301**
دوره×پوشش S×C	6	3.39×10^{-5}ns	0.863ns	0.732ns	0.018**	35.741**	0.095**	0.262**	0.312ns	0.445ns	0.001**	0.295**
دما×پوشش T×C	3	0.00**	4.137ns	5.328**	0.038**	46.777**	6.076**	3.918**	18.57**	3.756**	0.002**	0.569**
دوره×دما×پوشش S×T×C	6	3.47×10^{-5}ns	0.751ns	0.668ns	0.012**	32.223**	0.246**	0.167ns	1.156**	1.243**	0.001**	0.443**
خطا Error	48	3.66×10^{-5}	1.115	0.637	0.00	0.152	0.009	0.058	0.125	0.147	3.19×10^{-5}	0.044

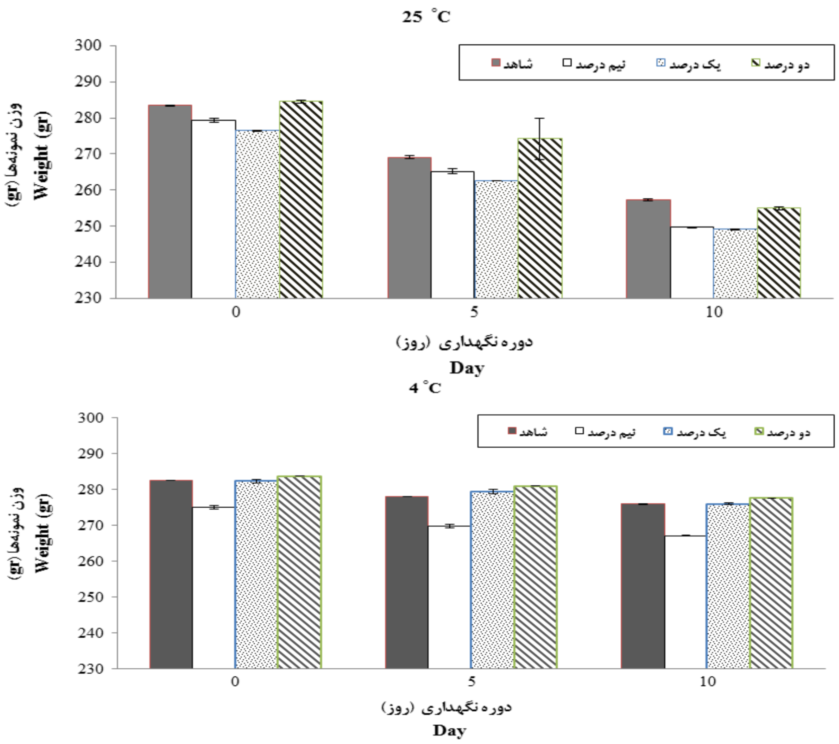
جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل دوره× دما× پوشش بر خواص فیزیکی و شیمیایی

Table 2- Comparison of the mean interactions of the period × temperature × coating on the physical and chemical properties

تیمار Treatment	pH	TSS	ΔE	b	L	درصد رطوبت Humidity	درصد افت وزن Weight loss
$d_1c_1t_1$	3.47^{j}	14.92^{l}	0.00^{h}	3.49^{h}	45.59^{cd}	0.4767^{c}	0.00^{i}
$d_1c_2t_1$	3.47^{j}	15.45^{l}	0.00^{h}	4.21^{cd}	42.53^{i}	0.4567^{d}	0.00^{i}
$d_1c_3t_1$	3.47^{j}	25.66^{bc}	0.00^{h}	3.55^{gh}	45.41^{cde}	0.4467^{de}	0.00^{i}
$d_1c_4t_1$	3.47^{j}	20.64^{gh}	0.00^{h}	3.31^{i}	43.27^{h}	0.4833^{c}	0.00^{i}
$d_1c_1t_2$	3.47^{j}	18.32^{j}	0.00^{h}	3.65^{gh}	44.94^{ef}	0.5133^{ab}	0.00^{i}
$d_1c_2t_2$	3.47^{j}	18.46^{j}	0.00^{h}	2.06^{l}	46.24^{ab}	0.4767^{c}	0.00^{i}
$d_1c_3t_2$	3.5^{j}	19.17^{i}	0.00^{h}	3.6^{gh}	44.54^{fg}	0.5233^{a}	0.00^{i}
$d_1c_4t_2$	3.5^{j}	19.43^{i}	0.00^{h}	3.58^{gh}	46.66^{a}	0.5133^{ab}	0.00^{i}
$d_2c_1t_1$	3.61^{de}	21.28^{fg}	1.8^{f}	3.57^{gh}	44^{g}	0.4033^{g}	5.04^{d}
$d_2c_2t_1$	3.53^{hi}	20.33^{h}	1.6^{f}	4.7^{b}	41.11^{lm}	0.4067^{g}	5.08^{d}
$d_2c_3t_1$	3.55^{gh}	23.23^{e}	2.44^{e}	4.62^{b}	43.33^{h}	0.3867^{h}	4.99^{d}
$d_2c_4t_1$	3.7^{c}	26.93^{a}	0.79^{g}	3.63^{gh}	43^{hi}	0.4433^{e}	4.81^{d}
$d_2c_1t_2$	3.5^{ij}	18.3^{j}	0.84^{g}	4.28^{c}	44.83^{ef}	0.5033^{b}	1.61^{g}
$d_2c_2t_2$	3.64^{d}	21.44^{f}	0.53^{gh}	2.51^{k}	45.98^{bc}	0.4567^{d}	2.15^{f}
$d_2c_3t_2$	3.49^{j}	19.23^{i}	0.82^{g}	3.91^{e}	43.97^{g}	0.5167^{a}	1.05^{h}
$d_2c_4t_2$	3.76^{b}	21.77^{f}	1.56^{f}	3.71^{fg}	45.33^{de}	0.5033^{b}	0.94^{h}
$d_3c_1t_1$	3.72^{c}	26.26^{b}	5.53a	4.73^{b}	40.67^{mn}	0.3567^{i}	9.2^{c}
$d_3c_2t_1$	3.59^{ef}	18.13^{j}	5.27^{a}	5.28^{a}	37.83^{p}	0.3067^{j}	10.66^{a}
$d_3c_3t_1$	3.57^{fg}	17.4^{k}	4.64^{b}	5.32^{a}	41.29^{kl}	0.3433^{k}	9.89^{b}
$d_3c_4t_1$	3.72^{bc}	20.63^{gh}	3.18^{cd}	3.87^{ef}	40.45^{n}	0.4167^{f}	10.39^{a}
$d_3c_1t_2$	3.55^{gh}	17.91^{jk}	2.89^{cde}	4.13^{cd}	42.48^{i}	0.4767^{c}	2.99^{e}
$d_3c_2t_2$	3.82^{a}	25.43^{c}	3.33^{c}	2.7^{j}	43.02^{hi}	0.4567^{d}	2.92^{e}
$d_3c_3t_2$	3.54^{gh}	17.82^{jk}	2.6^{de}	4.1^{d}	41.85^{jk}	0.44^{e}	2.23^{f}
$d_3c_4t_2$	3.82^{a}	24.61^{d}	3.43^{b}	4.17^{cd}	42.42^{ij}	0.4833^{c}	2.17^{f}

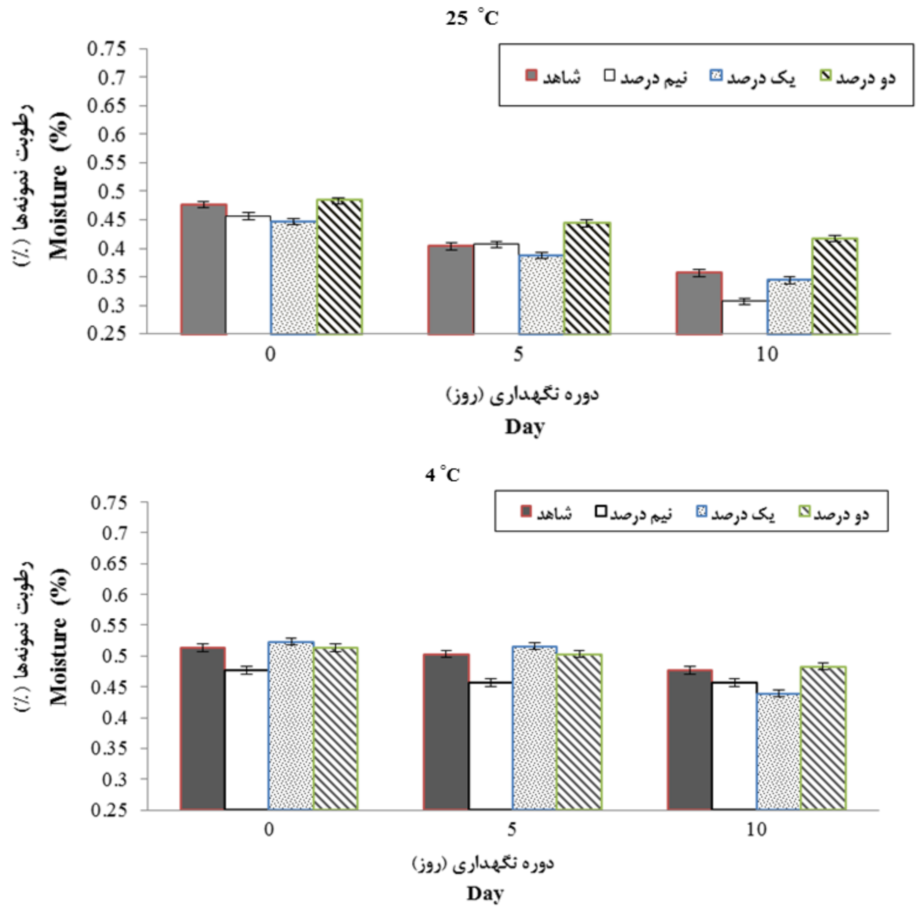
حروف مشابه در هر ستون به معنی عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Mean with the same letters are not significantly different ($P<0.05$)



شکل ٤- تغییرات وزن نمونه‌ها در طول دوره نگهداری

Fig. 4. Changes in sample weight during the storage



شکل ۵- تغییرات رطوبت نمونه‌ها در طول دوره نگهداری

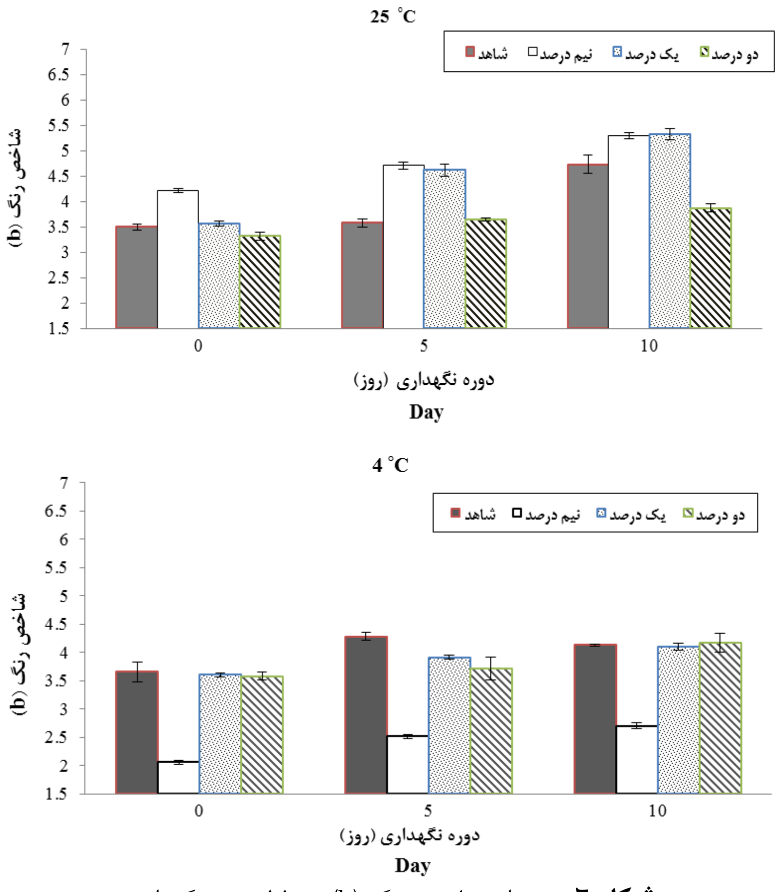
Fig. 5. Moisture changes of samples during the storage

نتایج حاصل از اندازه‌گیری و بررسی شاخص درخشندگی (L) انگور فخری در طول دوره نگهداری نشان داد که بیشترین میزان درخشندگی ۴۶/۶۶ برای نمونه پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۲ درصد در روز صفرم بوده است. در انتهای دوره نگهداری (روز دهم) بیشترین مقدار شاخص درخشندگی ۴۴/۴۲ نیز در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۲ درصد نگهداری شده در دمای یخچال و کمترین مقدار در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۰/۵ درصد نگهداری شده در دمای محیط برابر ۳۷/۸۳ بوده است. با بررسی داده‌ها مشخص شد که میزان درخشندگی در طول دوره نگهداری به طرز مشخصی کاهش پیدا کرده است به‌نحوی‌که بیشترین کاهش درخشندگی ۱۱/۰۴ ٪ و کمترین کاهش درخشندگی ۴/۷۸ ٪ به‌ترتیب در نمونه‌های پوشش‌دهی با چیتوزان ۰/۵ درصد نگهداری شده در محیط و نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۲ درصد نگهداری شده در یخچال بود. نتایج، نشان‌دهنده آن است که بهترین حالت در حفظ درخشندگی انگور فخری در طول دوره انبارداری در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۱ و ۲ درصد نگهداری شده در دمای یخچال رخ داده است که دلیل آن غلظت چیتوزان و دمای نگهداری مناسب استفاده شده برای این محصول می‌باشد. لیو و همکاران برای گوجه‌فرنگی‌های تیمار شده با چیتوزان در ۷ روز دوره نگهداری نتایج مشابهی را گزارش کردند (Liu *et al.*, 2007)، همچنین هرناندز مونار و همکاران برای میوه توت‌فرنگی گزارش کردند که میوه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان درخشندگی بیشتری نسبت به نمونه‌های شاهد داشته‌اند (Hernandez-Munoz *et al.*, 2008).

جزء رنگی a دارای طیف رنگی سبز تا قرمز در محدوده ۱۲۰- تا ۱۲۰+ می‌باشد. اندازه‌گیری و بررسی این جزء رنگی در نمونه‌های انگور فخری در طول دوره نگهداری بسیار حائز اهمیت می‌باشد. پس از برداشت تغییرات کمی در رنگ میوه اتفاق می‌افتد اما در طول دوره

نگهداری این تغییرات ممکن است قابل توجه باشد (Mostofi *et al.*, 2011).

بررسی داده‌ها نشان داد که کمترین مقدار a در نمونه‌های شاهد در ابتدای دوره نگهداری (روز صفرم) و بیشترین مقدار a برای نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۰/۵ درصد در انتهای دوره نگهداری (روز دهم) به‌ترتیب ۳/۷۶- و ۰/۴۳- بود. با گذشت زمان میزان a به‌طور قابل ملاحظه‌ای هم در نمونه‌های پوشش‌دهی شده و هم در نمونه‌های شاهد افزایش پیدا کرد، این امر نشان‌دهنده تغییر رنگ نمونه‌ها از سبزی به سمت قرمزی می‌باشد این روند در نمونه‌های پوشش داده شده کمتر بود، این افزایش ممکن است به دلیل افزایش در سرعت تنفس و تحریک فعالیت‌های آنزیمی باشد. استفاده از پوشش چیتوزان مانع از افزایش سرعت تنفس محصول در طول دوره نگهداری می‌شود که همین امر در حفظ و بهبود شاخص a تأثیر مستقیمی خواهد داشت. نتایج مشابهی توسط چین و همکاران برای میوه انبه گزارش گردیده است. آن‌ها گزارش کردند که شاخص تغییرات a در نمونه‌های تیمار شده با چیتوزان (۰/۵، ۱ و ۲ درصد) نسبت به نمونه‌های شاهد کمتر بوده است (Chien *et al.*, 2007). نتایج نشان‌دهنده آن بود که بیشترین تغییرات a در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۰/۵ درصد و نگهداری شده در محیط و کمترین تغییرات در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۲ درصد و نگهداری شده در یخچال به‌ترتیب ۸۳/۰۵ و ۳۴/۰۱ درصد می‌باشد که نشان‌دهنده تأثیر مثبت استفاده از پوشش چیتوزان ۲ درصد در حفظ رنگ سبز میوه در طول دوره نگهداری می‌باشد. همچنین نمونه‌های پوشش‌دهی با چیتوزان ۱ درصد نیز شرایط مناسب‌تری از نمونه‌های شاهد داشتند.



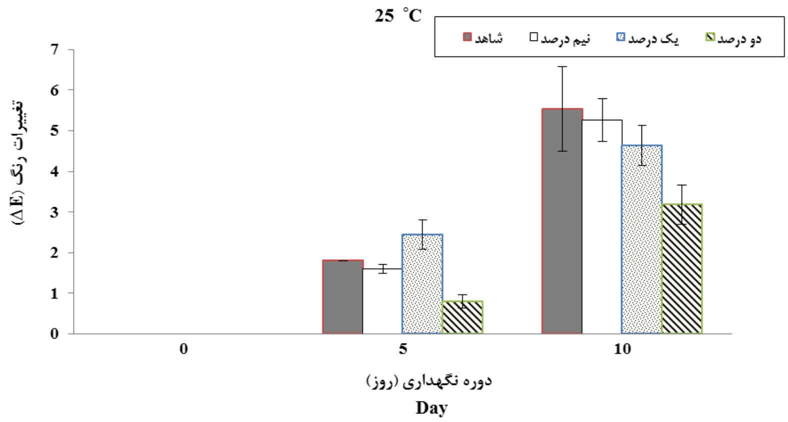
شکل ٦- تغییرات شاخص رنگ (b) در طول دوره نگهداری

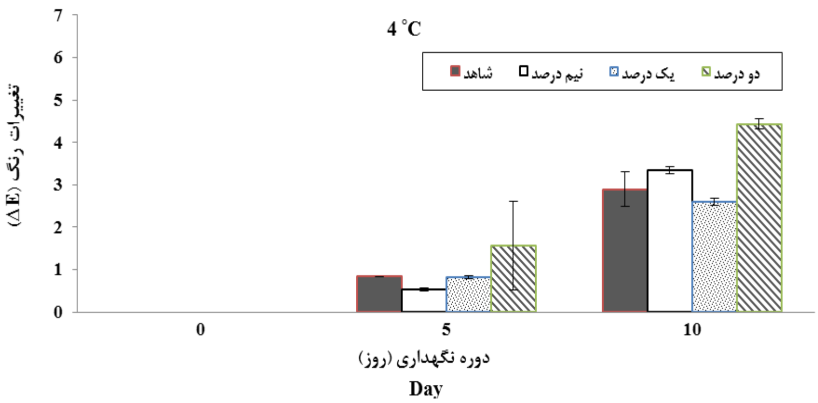
Fig. 6. Changes in color index (b) during the storage

جزء رنگی b در محدوده ۱۲۰- تا ۱۲۰+ بوده و دارای طیف رنگی آبی تا زرد می‌باشد. نتایج نشان داد که مقدار b در طول دوره نگهداری برای تمام نمونه‌ها روند صعودی داشته است (شکل ۶). نتایج حاصل از بررسی این جزء رنگی نشان‌دهنده آن بود که بیشترین تغییرات در نمونه‌های شاهد نگهداری شده در محیط (۶۴/۰۲ درصد) و کمترین تغییرات در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۱ درصد نگهداری شده در یخچال (۱۳/۷۷ درصد) بوده است. همچنین تغییرات این پارامتر در تمامی نمونه‌های پوشش‌دهی شده کمتر از

نمونه‌های شاهد بوده است که تأثیر مثبت پوشش چیتوزان در طول دوره نگهداری بر حفظ این پارامتر را نشان می‌دهد. بررسی مقادیر به‌دست آمده برای b نشان داد که در آخرین روز نگهداری (روز دهم) بیشترین مقدار این شاخص ۶/۵۸ در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۰/۵ درصد نگهداری شده در محیط و کمترین مقدار ۴/۱۰ در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۱ درصد نگهداری شده در یخچال بوده است.

میزان اختلاف رنگ (ΔE) هر نمونه در طول دوره نگهداری با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که در روز دهم نگهداری بیشترین میزان اختلاف رنگ (ΔE) ۵/۸۲ و کمترین میزان اختلاف رنگ ۲/۵۸ به‌ترتیب برای نمونه‌های شاهد نگهداری شـده در دمای محیط و پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۲ درصد نگهداری شده در دمای یخچال می‌باشد (شکل ۷).





شکل ۷- تغییرات رنگ (ΔE) در طول دوره نگهداری

Fig. 7. Color changes (ΔE) during the storage

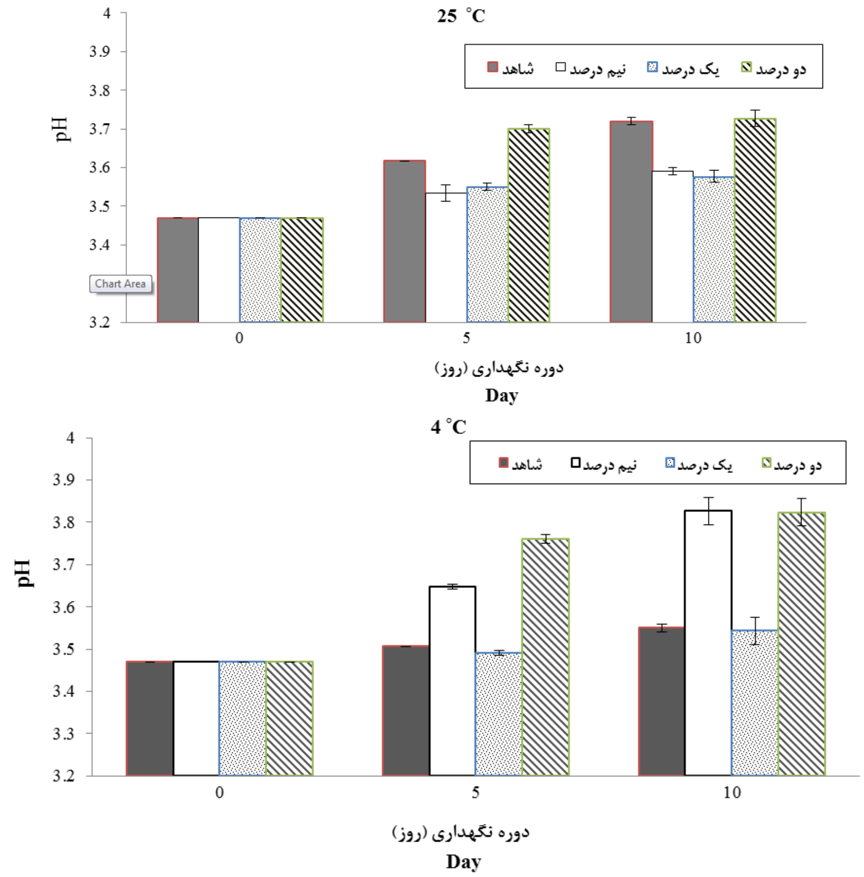
بررسی تغییرات pH و TSS

نتایج نشان داد که بین مقادیر میانگین TSS در روزهای پـنجم و دهم تفاوت معنی‌داری وجود نداشته است در حالی‌که در سـایر مـوارد تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد مشاهده گردید. تفاوت معنی‌داری در مقدار TSS بین نمونه‌های شـاهد و ۰/۵ درصـد مشـاهده نگردیـد در حالی‌که تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌های ۲ درصد با نمونه‌های شـاهد و ۰/۵ درصد وجود داشت. همچنین تفاوت بین مقادیر میـانگین pH در نمونه‌های شاهد و ۱ درصد وجود نداشت در حـالی‌کـه نمونـه‌هـای ۲ درصد دارای تفاوت معنی‌دار با سایر نمونه‌ها بودند.

افزایش pH نشان‌دهنده رسیدگی و فاسـد شـدن میـوه در طـول دوره نگهداری می‌باشد. در طول دوره نگهداری (۱۰ روز) میـزان pH در تمامی نمونه‌ها روند افزایشی داشته اسـت. نتـایج مشـابهی توسـط مستوفی و همکاران برای انگور رقم شاهرودی نیز گزارش شده اسـت (Mostofi *et al.*, 2011). مارتین دیانـا و همکـاران از پوشـش‌هـای مختلف چیتوزان برای پوشش‌دهی پرتقال اسـتفاده کردنـد (Martín-Diana *et al.*, 2009). نتایج گزارش شده مبنـی بـر افـزایش pH در طول دوره نگهـداری بـوده اسـت. نتـایج حاصـل از بررسـی خـواص شــیمیایی انگــور فخــری در طــول دوره نگهــداری (۱۰ روز اول) نشان‌دهنده آن بود که بیشترین مقدار pH، ۳/۸۲ در نمونه‌پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۰/۵ درصد نگهداری شده در دمای یخچال روز دهم و

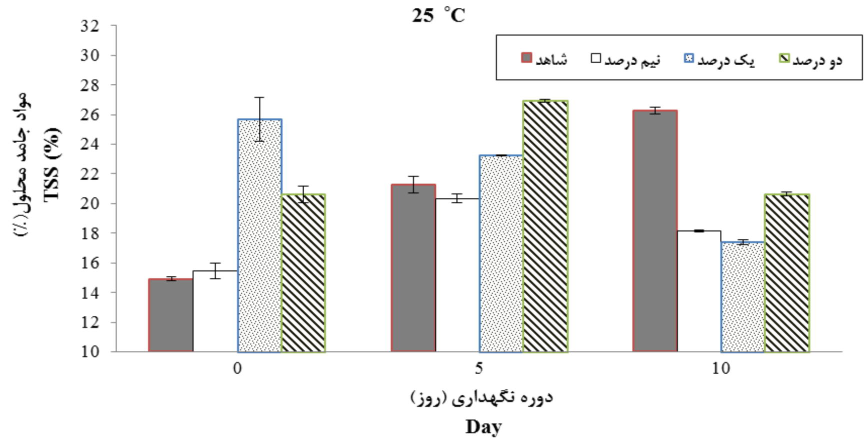
کمترین مقدار pH، ۳/۴۷ روز اول بوده است (شکل ۸). بررسی مقادیر pH ابتـدا و انتهـای دوره مشـخص کـرد کـه بیشـترین افـزایش را نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۰/۵ درصد و کمترین افـزایش را نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۱ درصد به‌ترتیب به میـزان ۱۰/۲۷ و ۲/۱۱ درصد داشته‌اند. همچنین استفاده از پوشش چیتوزان ۲ درصد نیز بعد از پوشـش ۱ درصـد بهتـرین تـأثیر را بـر جلـوگیری از افزایش pH داشت. استفاده از پوشش چیتوزان ۱ درصـد رونـد تغییـر (افزایش) pH را کند کرده و همین موضـوع سـبب بـه تـاخیر افتـادن زمان فسادپذیری میوه خواهد شـد. پوشـش نیمـه‌نفوذپـذیر چیتـوزان اتمسفر درونی را تغییر داده و میزان O_2 و CO_2 اطراف میـوه را تغییـر می‌دهد، بنابراین رسیدن میـوه بـه تعویـق مـی‌افتـد (Cong *et al.*, 2007) و مراحل فسادپذیری محصول به‌صورت کندتر طی خواهد شد که همین امر نشان‌دهنده تأثیر مثبت استفاده از ایـن پوشـش در دوره نگهداری است.

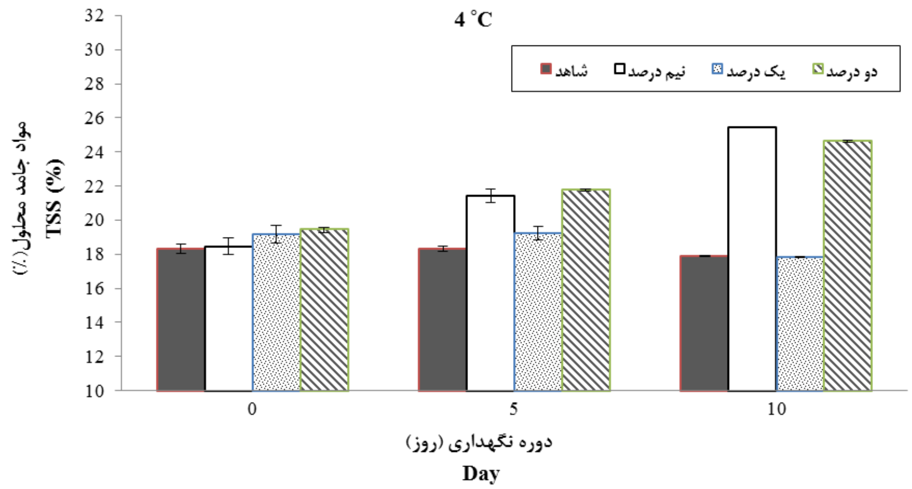
در پایان دوره نگهداری نتایج حاصل از بررسی و اندازه‌گیری TSS نشان داد که بیشترین مقدار در این روز برای نمونه‌های شاهد نگهداری شده در دمای محیط و کمترین مقدار برای نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۱ درصد به‌ترتیب ۲۶/۲۶ و ۱۷/۴۰ درصد بوده است (شکل ۹). همانطور که در شکل مشخص است تغییرات مقادیر TSS روند خاصی را در طول دوره نگهداری نداشته‌اند و در برخی روزها روند افزایشی و در برخی موارد روند کاهشی از خود نشان داده‌اند.



شکل ۸– تغییرات pH در طول دوره نگهداری

Fig. 8. pH changes during the storage





شکل ۹- تغییرات TSS در طول دوره نگهداری

Fig. 9. TSS changes during the storage

تأثیر پوشش‌دهی چیتوزان، دما و دوره نگهداری بر خواص مکانیکی انگور فخری

نتایج مقایسه میانگین اثر غلظت چیتوزان بر خواص مکانیکی انگور فخری نشان داد که بین مقادیر نیروی شکست نمونه‌های پوشش‌دهی شده و شاهد تفاوت معنی‌داری وجود نداشته است (جدول ۳). از طرفی مقادیر متوسط نیروی بیشینه در نمونه‌های شاهد و پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۲ درصد تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشته‌اند.

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی پوشش چیتوزان بر خواص مکانیکی

Table 3- Comparison of the mean effect of chitosan coating on mechanical properties

غلظت پوشش Coating concentration	نیروی شکست F_{break}	نیروی بیشینه F_{max}
بدون پوشش No-coating	3.35^{b}	3.97^{a}
۰/۵ درصد 0.5%	2.88^{c}	3.74^{ab}
۱ درصد 1%	3.39^{a}	3.52^{ab}
۲ درصد 2%	2.89^{c}	3.33^{b}

حروف مشابه در هر ستون به معنی عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

Mean with the same letters are not significantly different (P<0.05)

اثر متقابل دوره × دما تأثیر معنی‌داری بر تغییرات مدول الاستیسیته داشته است به همین دلیل مقایسه میانگین این اثر متقابل بر تغییرات مدول الاستیسیته نیز بررسی گردید که در جدول ۴ آمده است. سه حالت برای تغییر روز و دو حالت دمایی، در مجموع شش حالت تغییرات در این بررسی وجود داشت که به صورت تیمار موثر نمایش داده شده است. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار میانگین مدول الاستیسیته (۰/۰۲۱۳ گیگاپاسکال) در تیمار ۶ یا به عبارتی در روز دهم و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد بوده است. تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بین تیمار ۶ با تیمارهای ۳ و ۵ مشاهده گردید.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل دوره × دما بر مدول الاستیسیته در ۱۰ روز

Table 4- Comparison of the mean interactions of the period × temperature on the modulus of elasticity in 10 days

تیمار Treatment	مدول الاستیسیته Elasticity modulus
d_1t_1	0.0146^{ab}
d_1t_2	0.0132^{ab}
d_2t_1	0.0071^{b}
d_2t_2	0.0152^{ab}
d_3t_1	0.0088^{b}
d_3t_2	0.0213^{a}

حروف مشابه در هر ستون به معنی عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

Mean with the same letters are not significantly different (P<0.05)

اثر متقابل دما × پوشش نیز تأثیر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر نیروی بیشینه و مدول الاستیسیته در ۱۰ روز نگهداری داشت، به همین دلیل مقایسه میانگین تأثیر این اثر متقابل مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن در جدول ۵ نمایش داده شده است. تعیین تیمارها بدین صورت بود که ۴ حالت برای پوشش‌دهی و دو حالت دمایی، در مجموع ۸ حالت برای تیمارها در نظر گرفته شد. بیشترین مقدار مدول الاستیسیته ۰/۰۲۱۷ گیگاپاسکال در تیمار ۸ (نمونه پوشش شده با چیتوزان ۲ درصد نگهداری شده در دمای یخچال) و بیشترین مقدار نیروی بیشینه ۴/۲ نیوتن در تیمار ۱ (نمونه شاهد) بود.

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دما × پوشش بر خواص مکانیکی در ۱۰ روز

Table 5- Comparison of the mean interactions of the temperature-coating on mechanical properties in 10 days

تیمار Treatment	نیروی بیشینه F_{max}	مدول الاستیسیته Elasticity modulus
c_1t_1	5.41^{a}	0.0093^{b}
c_1t_2	4.95^{ab}	0.0123^{ab}
c_2t_1	4.53^{ab}	0.0091^{b}
c_2t_2	4.1^{b}	0.01^{b}
c_3t_1	3.94^{ab}	0.0126^{ab}
c_3t_2	3.69^{b}	0.0134^{ab}
c_4t_1	4.47^{ab}	0.0185^{ab}
c_4t_2	4.37^{ab}	0.0217^{a}

حروف مشابه در هر ستون به معنی عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

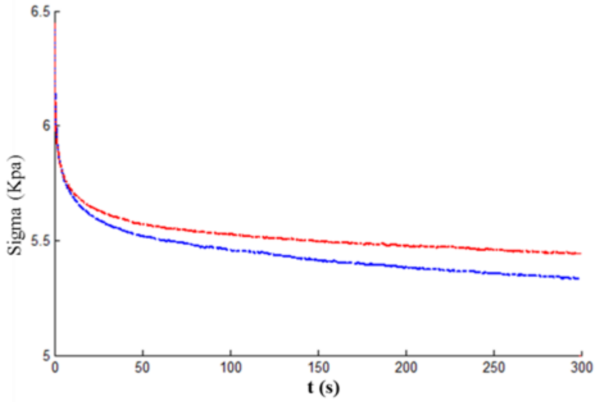
Mean with the same letters are not significantly different (P<0.05)

نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری خواص مکانیکی انگور فخری نشان داد که در روز دهم بیشترین مقدار مدول الاستیسیته ۰/۰۳۵۵۵ و کمترین مقدار ۰/۰۰۸۱ گیگاپاسکال به‌ترتیب برای نمونه پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۲ درصد نگهداری شده در یخچال و نمونه شاهد نگهداری شده در محیط می‌باشد. کمترین و بیشترین نیروی بیشینه در آخرین روز دوره (روز دهم) به‌ترتیب ۲/۸۷ و ۴/۹۱ نیوتن برای نمونه‌های شاهد نگهداری شده در دمای محیط و پوشش‌دهی با چیتوزان ۰/۵ درصد نگهداری شده در دمای یخچال بوده است. در مجموع استفاده از پوشش چیتوزان در تمامی درصدهای مورد استفاده سبب حفظ سفتی میوه در کل دوره نگهداری بوده است. نگهداری محصول در طول دوره انبارداری همانطور که در قسمت بررسی خواص فیزیکی مشخص شد سبب کاهش میزان آب درون محصول می‌گردد، در نتیجه فشار تورژسانس سلولی کاهش یافته و سفتی میوه کم می‌شود، نتایج مشابهی توسط صحرایی و همکاران برای سیب گلاب (Sahraei Khosh Gardesh *et al.*, 2014) و عشقی و همکاران برای میوه توت‌فرنگی (Eshghi *et al.*, 2013)

گزارش گردیده است. هانگ و همکاران نیز در بررسی خواص میوه گواوا نشان دادند که سفتی میوه در طول دوره نگهداری کاهش می‌یابد ولی استفاده از پوشش‌های خوراکی سرعت کاهش سفتی بافت را کندتر کرده و سبب بهبود کیفیت محصول در طول دوره نگهداری می‌شوند (Hong *et al.*, 2012). همچنین کاهش سفتی میوه انگور در طول دوره نگهداری می‌تواند ناشی از کاهش ضخامت پوست محصول در طول دوره باشد که استفاده از پوشش چیتوزان در بهبود این مقوله نیز تاثیر مثبتی در راستای حفظ سفتی محصول داشته است (Lee and Bourne, 1980).

نتایج آزمون تنش‌آسایی در دوره نگهداری و بررسی زمان تنش‌آسایی

جدول ۶ مقادیر میانگین زمان تنش‌آسایی و مقدار تنش‌آسایی در المان‌های ویسکوالاستیک مدل سه جزئی ماکسول را برای نمونه‌های پوشش‌دهی شده و شاهد انگور فخری در طول دوره نگهداری نشان می‌دهد. یک مورد از نمودارهای تنش‌آسایی داده‌های مدل شده با ضرایب ماکسول و داده‌های به‌دست آمده از آزمون تجربی به‌عنوان نمونه در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰- داده‌های تجربی و نتایج به‌دست آمده از مدل ماکسول سه المانه

Fig. 10. Experimental data and results obtained from the Maxwell three-element model

در روز آخر دوره نگهداری بیشترین مقدار زمان آسایش اول ۲۸۵/۱۷ در نمونه پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۱ درصد و کمترین مقدار ۲۰۰/۹۰۷ ثانیه در نمونه شاهد بود. مشخص شد که زمان تنش‌آسایی نمونه‌های شاهد، هم در دمای محیط و هم در دمای یخچال به‌تدریج بعد از روز صفرم تا روز دهم کاهش داشته است، این درحالی است که نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان رفتار متفاوتی داشته‌اند، به‌نحوی‌که در تمام نمونه‌های پوشش‌دهی شده افزایش زمان تنش‌آسایی در روز پنجم مشاهده گردید که نشانه تأثیر پوشش چیتوزان بر حفظ خاصیت الاستیک محصول و در نتیجه افزایش زمان تنش‌آسایی در ۵ روز اول نگهداری نمونه‌ها می‌باشد. هرچه ویژگی الاستیک محصول بیشتر باشد زمان تنش‌آسایی نیز بیشتر خواهد بود (Vliet, 1999) که این امر در ۵ روز اول به‌صورت کامل مشاهده گردید. بیشترین تغییرات زمان تنش‌آسایی در نمونه‌های شاهد نگهداری شده در دمای محیط و کمترین تغییرات در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۰/۵ درصد نگهداری شده در یخچال به‌ترتیب ۵/۶۶ و ۰/۲۳۲ درصد در طول دوره نگهداری بود. همچنین تغییرات سایر نمونه‌های پوشش‌دهی شده با درصدهای مختلف چیتوزان نیز کمتر از نمونه‌های شاهد بود که نشان‌دهنده تأثیر پوشش چیتوزان در حفظ خاصیت الاستیک انگور فخری در دوره نگهداری است. دلیل این امر آن است که پوشش‌های خوراکی با تشکیل یک سد روی سطح میوه مانع کاهش رطوبت و از دست دادن آب می‌شوند و همچنین پوشش‌هایی مانند چیتوزان از استحکام خوبی برخوردار هستند و مانع از تخریب آنزیمی دیواره سلولی در طول دوره نگهداری می‌شوند (Bravin *et al.*, 2004).

از طرفی در بین تمام نمونه‌ها، نمونه‌های نگهداری شده در یخچال نیز زمان تنش‌آسایی بیشتری داشتند که نشان‌دهنده تأثیر دمای نگهداری پائین بر حفظ خاصیت الاستیک محصولات کشاورزی است. به‌نحوی‌که نگهداری محصولات در دمای یخچال در حفظ ویژگی‌های کیفی و رطوبت اولیه محصول تأثیر مثبت خواهد داشت.

همچنین رابطه (۶)، معادله ماکسول عمومی حاصل از ضرایب تنش ثابت و زمان‌های تنش‌آسایی یکی از آزمایشات را به صورت نمونه نشان می‌دهد. این رابطه برای تمامی تیمارها با جایگذاری ضرایب به‌دست آمده برای هریک از شرایط، تعیین شد:

$$\sigma(t) = 2.467e^{-\frac{t}{225.891}}+1.424e^{-\frac{t}{75.891}}e + 1.037e^{-\frac{t}{13.876}} + 1.226 \qquad (۶)$$

بررسی مقادیر اولین تنش‌آسایی در طول دوره نگهداری برای نمونه‌های شاهد و پوشش‌دهی شده نشان داد که در آخرین روز بیشترین مقدار تنش کاهش یافته ۲/۷۹۵ و کمترین مقدار تنش کاهش یافته ۲/۳۲۴ کیلوپاسکال به‌ترتیب در نمونه‌های پوشش‌دهی

شده با چیتوزان ۱ درصد نگهداری شده در یخچال و نمونه‌های شاهد نگهداری شده در محیط می‌باشد. مقدار تنش‌آسایی در نمونه‌های شاهد که در دمای یخچال و محیط نگهداری شده‌اند در طول دوره نگهداری روندی کاهشی داشته است این در حالی است که در تمام نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان در ۵ روز اول نگهداری افزایش مقدار تنش‌آسایی و سپس کاهش آن مشاهده گردید، که این موضوع نشان‌دهنده تأثیر پوشش چیتوزان بر تقویت خواص الاستیک انگور فخری در طول دوره نگهداری در ابتدای دوره می‌باشد.

نتایج نشان‌دهنده آن بود که بیشترین تغییرات اولین زمان تنش‌آسایی در طول دوره ۱۸/۱۱ درصد و کمترین مقدار تغییرات ۳/۱۸ درصد به‌ترتیب در نمونه‌های شاهد نگهداری شده در دمای محیط و نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۰/۵ درصد نگهداری شده در دمای یخچال بوده است. همچنین تغییرات در تمامی نمونه‌های پوشش‌دهی شده کمتر از نمونه‌های شاهد مشاهده گردید. تغییرات کم در نمونه‌های پوشش‌دهی شده نشان‌دهنده تأثیر پوشش چیتوزان در حفظ خاصیت الاستیک انگور فخری به‌عنوان یک پارامتر موثر در کیفیت این محصول در طول دوره نگهداری است.

مقادیر به‌دست آمده برای تنش باقیمانده (σ_e) نیز در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج حاکی از این بود که بیشترین مقدار تنش باقیمانده ۱/۸۹۳ و کمترین مقدار ۰/۷۶۵ کیلوپاسکال به‌ترتیب برای نمونه‌های پوشش‌دهی شده با چیتوزان ۱ درصد نگهداری شده در یخچال و نمونه‌های شاهد

نگهداری شده در محیط در روز دهم بوده است. کاهش مستمر تنش تعادلی در نمونه‌های شاهد و افزایش نسبی آن در نمونه‌های پوشش‌دهی شده بیانگر تأثیر مثبت پوشش چیتوزان در حفظ کیفیت انگور فخری نسبت به شرایط اولیه برداشت آن در طول دوره نگهداری می‌باشد، در این زمینه ندیم و احمدی بیان کردند که کاهش مقادیر ضرایب مدل ماکسول (σ_1، σ_2 و σ_3) نشان‌دهنده کاهش خاصیت الاستیک محصولات کشاورزی می‌باشد (Nadim and Ahmadi, 2016). طبق نتایج به‌دست آمده استفاده از پوشش چیتوزان در انگور رقم فخری در راستای حفظ خاصیت الاستیک و در نتیجه حفظ کیفیت اولیه این محصول در طول دوره نگهداری تأثیر مثبتی داشته است.

جدول ٦- مقادیر تنش و زمان تنش‌آسایی در المان‌های سه جزئی ویسکوالاستیک مدل ماکسول

Table 6- Stress and relaxation time values in the three-component viscoelastic elements of the Maxwell model

			زمان تنش‌آسایی Relaxation time (s)				تنش Stress (kpa)		
Treatment	Day	Temperature	σ_e	σ_3	σ_2	σ_1	T_3	T_2	T_1
بدون پوشش No-coating	1	25	1.375	1.069	1.483	2.838	15.057	89.118	229.152
	1	4	1.393	1.353	1.853	2.633	13.567	78.211	209.456
	5	25	1.063	0.939	1.043	2.553	8.749	87.745	225.259
	5	4	1.498	1.005	1.77	2.434	10.427	83.866	201.705
	10	25	0.765	0.576	1.054	2.324	8.166	92.898	216.164
	10	4	1.081	0.815	1.516	2.374	10.303	76.712	200.907
۰/۵ درصد چیتوزان 0.5%	1	25	1.135	1.033	1.45	2.494	16.416	76.915	245.972
	1	4	1.235	1.139	1.554	2.405	13.679	71.233	240.265
	5	25	1.815	1.73	2.02	2.82	11.885	84.381	246.234
	5	4	1.871	1.701	2.023	2.868	10.363	84.319	342.405
	10	25	1.775	1.607	1.803	2.414	9.541	79.978	235.142
	10	4	1.818	1.077	2.096	2.7	9.788	60.388	239.707
۱ درصد چیتوزان 1%	1	25	1.536	1.02	1.778	2.892	14.819	71.001	300.132
	1	4	1.226	1.037	1.424	2.467	13.876	75.891	225.891
	5	25	1.761	1.658	2.174	2.93	13.704	72.531	304.17
	5	4	1.839	1.752	2.036	3.198	11.864	91.128	297.423
	10	25	1.721	1.627	2.029	2.499	8.339	85.384	285.142
	10	4	1.839	1.739	2.093	2.795	9.369	71.363	229.568
۲ درصد چیتوزان 2%	1	25	1.337	1.281	1.678	2.49	15.063	85.77	253.496
	1	4	1.344	1.187	1.576	2.483	14.002	82.487	257.329
	5	25	1.731	1.649	1.943	2.636	14.428	91.49	258.039
	5	4	1.708	1.613	1.912	2.856	12.663	94.935	257.504
	10	25	1.033	1.16	2.157	2.374	9.945	80.315	261.04
	10	4	1.492	1.334	2.067	2.664	12.244	89.709	271.676

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که استفاده از پوشش چیتوزان (با هر درصدی) تأثیر مثبت در حفظ ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی انگور فخری در دوره نگهداری محصول داشته است. به‌نحوی‌که در بررسی خواص فیزیکی مشخص شد، استفاده از پوشش چیتوزان در جلوگیری از اتلاف وزن نمونه‌ها و حفظ رطوبت آن‌ها و همچنین در حفظ شاخص‌های رنگ انگور فخری که مشخص‌کننده کیفیت این محصول و بازارپسندی آن است، تأثیر مثبت و قابل قبولی نسبت به نمونه‌های شاهد داشته است. از طرفی نگهداری نمونه‌ها در دمای یخچال نیز در حفظ کیفیت انگور فخری تأثیر مثبتی نسبت به نگهداری در دمای محیط داشت. از طرفی پوشش چیتوزان با درصدهای مختلف مانع از افزایش pH در دوره نگهداری شد. افزایش pH یکی از عوامل اصلی در فاسد شدن محصولات غذایی می‌باشد که استفاده از پوشش چیتوزان به‌عنوان یک پوشش خوراکی در افزایش عمر تازه‌خوری انگور فخری و جلوگیری از فساد زودهنگام آن تأثیر قابل قبولی از خود نشان داد. حفظ خاصیت الاستیک مواد غذایی به‌عنوان یک ماده ویسکوالاستیک در بهبود کیفیت این محصولات در طول دوره نگهداری بسیار حائز اهمیت می‌باشد. تأثیر استفاده از پوشش چیوزان بر خواص مکانیکی و رئولوژیکی انگور فخری قابل ملاحظه بود به‌نحوی‌که استفاده از این پوشش با حفظ خاصیت الاستیک انگور فخری مانع از افت شدید مدول الاستیسیته و زمان تنش‌آسایی انگور فخری در طول دوره نگهداری شد. مدل ماکسول سه المانه که برای شبیه‌سازی ویژگی‌های ویسکوالاستیک این محصول مورد استفاده قرار گرفت نیز به نحو رضایت‌بخشی متناسب با داده‌های تجربی بود، همین موضوع اعتبار این مدل در شبیه‌سازی رفتار مواد ویسکوالاستیک مخصوصاً انگور رقم فخری را نشان می‌دهد. بررسی تمام نتایج نشان داد که پوشش چیتوزان تأثیر قابل قبولی در حفظ خواص کیفی و کمی انگور رقم فخری در طی دوره نگهداری دارد.

References

1. Bautista-Banos, S., A. N. Hernandez-Lauzardo, M. G. Velazquez-del Valle, M. Hernandez-Lopez, E. Ait Barka, E. Bosquez-Molina, and C. L. Wilson. 2006. Chitosan as a potential natural compound to control pre and postharvest diseases of horticultural commodities. Crop Protection 25:108-118.
2. Bravin, B., D. Peressini, and A. Sensidoni. 2004. Influence of emulsifier type and content on functional properties of polysaccharide lipid-based edible films. Journal of Agricultural and Food Chemistry 52: 6448-6455.
3. Chi, S., S. Zivanovic, J. Weiss, and F. A. Draughon. 2003. Antimicrobial properties of chitosan films enriched with essential oils, Food Microbiology: Control of food borne microorganisms by antimicrobials IFT Annual Meeting – Chicago, jul. 18-21.
4. Chien, P. J., F. Sheu, and H. R. Lin. 2007. Coating citrus (*Murcott tangor*) fruit with low molecular weight chitosan increases postharvest quality and shelf life. Food Chemistry 100:1160-1164.
5. Cong, F., Y. Zhang, and W. Dong. 2007. Use of surface coatings with natamycin to improve the storability of Hami melon at ambient temperature. Postharvest Biology and Technology 46: 71-75.
6. Del-Valle, V., P. Hernández-Muñoz, A. Guarda, and M. Galotto. 2005. Development of a cactus-mucilage edible coating (Opuntia ficus indica) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. Food Chemistry 91: 751-756.
7. Du, J., H. Gemma, and S. Iwahori. 1997. Effects of chitosan coating on the storage of peach, Japanese pear, and kiwifruit. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science 66: 15-22.
8. Eshghi, S., M. Hashemi, A. Mohammadi, F. Badie, Z. Mohammad hosseini, K. Ahmadi, and K. Ghanati. 2013. Effect of nano-emulsion coating containing chitosan on storability and qualitative characteristics of strawberries after picking. Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology 8: 9-19. (in Farsi).
9. Hassanpour, A., M. Esmaiili, A. Modarres Motlagh, A. Rahmani Didar, and M. Nasiri, 2011. Determination of poisson's ratio and modulus of elasticity during maturation of white seedless grapes. Iranian Food Science and Technology Research Journal 6: 308-316.
10. Heidari, R., J. Khalafi, and N. Dolatabadzadeh. 2004. Anthocyanin pigments of siahe sardasht grapes, Journal of Sciences 15: 113-117. (in Farsi).
11. Hernandez-Munoz, P., E. Almenar, V. Del-Valle, D. Velez, and R. Gavara. 2008. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria ananassa*) quality during refrigerated storage. Food Chemistry 110: 428-435.
12. Hong, K., J. Xie, L. Zhang, D. Sun, and D. Gong. 2012. Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of guava (*Psidium guajava* L.) fruit during cold storage. Scientia Horticulturae 144: 172-178.
13. Kofuji, K., C. J. Qian, M. Nishimura, I. Sugiyama, Y. Murata, and S. Kawashima. 2005. Relationship between physicochemical characteristics and functional properties of chitosan. European Polymer Journal 41: 2784-2791.
14. Lee, C., and M. Bourne. 1980. Changes in grape firmness during maturation. Journal of Texture Studies 11: 163-172.
15. Liu, J., S. P. Tian, X. H. Meng, and Y. Xu. 2007. Control effects of chitosan on postharvest diseases and physiological response of tomato fruit. Postharvest Biology and Technology 44: 300-306.

16. Maciel, J., D. Silva, H. C. Paula, and R. De Paula. 2005. Chitosan/carboxymethyl cashew gum polyelectrolyte complex: synthesis and thermal stability. European Polymer Journal 41: 2726-2733.
17. Martín-Diana, A. B., D. Rico, J. Barat, and C. Barry-Ryan. 2009. Orange juices enriched with chitosan: optimisation for extending the shelf-life. Innovative Food Science and Emerging Technologies 10: 590-600.
18. Mohsenin, N. 1986. Physical properties of plants and animal materials: structure, physical characteristics and mechanical properties. New York: Gordon and Breach, in, Science Publishers Inc.
19. Mostofi, Y., M. Dehestani Ardekani, and H. Razavi. 2011. The effect of chitosan on postharvest life extension and qualitative characteristics of table grape “Shahroodi”. Journal of Food Science 8 (30): 93-102. (in Farsi).
20. Nadim, Z., and E. Ahmadi. 2016. Rheological properties of strawberry fruit coating with methylcellulose. Journal of Agricultural Machinery 6: 153-162. (in Farsi).
21. Plascencia-Jatomea, M., G. Viniegra, R. Olayo, M. M. Castillo-Ortega, and K. Shirai. 2003. Effect of chitosan and temperature on spore germination of Aspergillus niger. Macromolecular Bioscience 3: 582-586.
22. Ribeiro, C., A. A. Vicente, J. A. Teixeira, and C. Miranda. 2007. Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. Postharvest Biology and Technology 44: 63-70.
23. Sahraei Khosh Gardesh, A., F. Badii, and A. Yasini Ardakani. 2014. The Effect of Chitosan-Based Nano-Emulsion Coating on Extending the Shelf Life of Apple var. Golab Kohanz. Iranian Journal of Biosystem Engineering 45: 113-120. (in Farsi).
24. Shiri, M. A., D. Bakhshi, M. Ghasemnezhad, M. Dadi, A. Papachatzis, and H. Kalorizou. 2013. Chitosan coating improves the shelf life and postharvest quality of table grape (Vitis vinifera) cultivar Shahroudi. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 37: 148-156.
25. Taghinezhad Kafshgari, E., S. J. Hashemi, and S. R. Tabatabaie. 2013. Effect of chitosan and oortho phenyl phenol coating on shelf life of Thompson orange. Innovation in Food Science and Technology 5: 71-78.
26. Vliet, T. V. 1999. Rheological classification of foods and instrumental techniques for their study. In A.J. Rosenthal (Ed.), Food Texture Measurement and Perception. New York: Aspen 65-98.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 9, No. 2, Fall - Winter 2019, p. 347-364

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۹، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۸، ص ۳۶۴-۳۴۷

Effect of Chitosan Coating on Physical, Mechanical and Chemical Properties of Grapes during Storage

S. Khodamoradi[1]- E. Ahmadi[2*]

Received: 14-12-2017
Accepted: 11-06-2018

Introduction

Grape fruit set its fruits and shortly after planting and due to high nutritious value and excellent food quality has been welcomed by many people in the world, but considering its soft tissue and high softening velocity and sensitivity to fungi attack it is known as an extensively vulnerable fruit. One of the most important ways to maintain fruit quality, decrease vulnerably and assist more appropriate storage, is the use of coating method and proper packing of agricultural products and combining these procedures to decrease damages in storage. Edible coatings provide a replacement and fortification of the natural layers at the product surface to prevent moisture losses, gas aromas, and solute movements out of the food, while selectively allowing for controlled exchange of important gases, such as oxygen, carbon dioxide, and ethylene, which are involved in fruit respiration. Chitosan is the most common polysaccharide-based coatings. Chitosan films have been successfully applied as edible material in films and coatings for the quality preservation of different fruit. In this study, the effects of the application of chitosan edible coatings and storage time on some physical, chemical, mechanical and rheological properties of grape were investigated during storage.

Materials and Methods

Grape fruits were screened for physical damages, fungal infections, and size homogeneity after harvesting from the farm. Then fruits were divided into without coating and fruits with coating. Fruits being coated, prepared in chitosan emulsion and submerged for two minutes and kept at 20°C for one hour for drying the surface coating via airflow. In order to calculate the weight loss, three containers of each grape fruits (treatment and control) collected and after weighing and averaging weight loss were compared to initial weight during storage expressed as a percent. Color intensities were determined using colorimeter samples. In order to determine soluble solids from each sample, refract meter was used and pH amount of each sample was determined. Mechanical traits and fruit stiffness were measured through penetration test using materials test machine Zowick/ Roell having 500 N loadcell in line with the small diameter with concave probe (5 mm diameter), the penetration depth of 2 mm and loading rate of 10 mm s^{-1}. Mechanical traits including stiffness and elasticity module calculated from the force-deformation curve. Viscoelastic materials have the properties of both viscous and elastic materials and can be modeled by combining elements that represent these characteristics. A viscoelastic model, called the Maxwell model which can predict behavior was evaluated.

Results and Discussion

In this current study, the application of chitosan coating significantly reduced the fresh grape decay. Fruit decay of grape increased with storage time, but the coating reduced the rate of decay with the length of storage. According to the results, the application of these coatings has a positive impact on yield stress and energy of rupture product texture during the storage. Results of variance analysis showed that temperature, coating and storage time has a significant effect (1% level) on some of the engineering properties of the grape. Storage time has a significant effect on elasticity, while the coating does not have a significant effect on this parameter. Finally, results showed that the application of chitosan coating has an effect on relaxation time and stress. So during storage of coated samples these parameters decreased compared to uncoated.

Conclusions

Edible films and coatings may reduce the moisture transfer, the rate of oxidation and respiration which are considered important to prolong the shelf-life of these products. This investigation showed that the chitosan coatings are effective for grape shelf life extension and retarded the senescence process compared with control.

1- Msc Student, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
2- Associate Professor, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
(*- Corresponding Author Email:eahmadi@basu.ac.ir)

The coat has been as a physical barrier for the gas exchange between the fruit and the environment. It was demonstrated that the coating reduced the loss of firmness and delayed the softening of fruit and texture change.

Keywords: Chitosan coating, Chemical, Grape, Mechanical, Physical properties, Storage